

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-257419

(43)Date of publication of application : 21.09.2001

(51)Int.Cl.

H01S 5/0683
G02B 6/42
H01S 5/022
H01S 5/024
H01S 5/50

(21)Application number : 2000-067606

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 10.03.2000

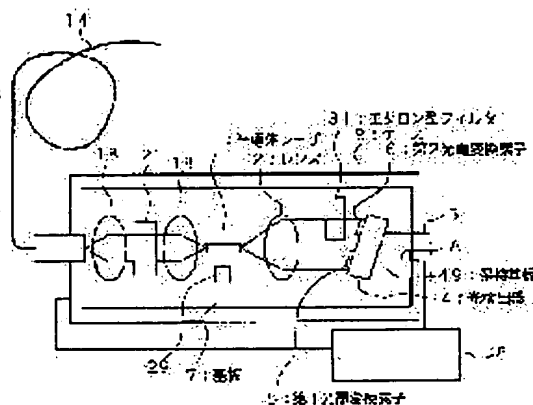
(72)Inventor : YOKOYAMA YOSHITAKA

(54) WAVELENGTH STABILIZED LASER MODULE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a wavelength stabilized laser module which can output a laser beam whose wavelength is stabilized highly precisely, has simple structure and is capable of miniaturization.

SOLUTION: This laser module is provided with a semiconductor laser 1, a substrate 7 which can adjust a temperature, a lens 2 which converts the output beam of the laser 1 to a parallel luminous flux, a first photoelectric transducer 5 which receives a part of the parallel luminous flux which has passed the lens 2 and converts it into an electric signal, an etalon filter 31 which a part of the parallel luminous flux enters, and a second photoelectric transducer 6 which receives the beam which has passed the filter and converts it to an electric signal. A control signal for stabilizing a wavelength which signal is obtained by calculating electric signals from the first and the second photoelectric transducers 5, 6 fed back to the semiconductor laser 1 and/or the substrate 7. As a result, the semiconductor laser can output stably a laser beam at a reference wavelength as a target of stabilization.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 15.02.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 24.08.2004

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application converted
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2004-19686

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 24.09.2004

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-257419

(P2001-257419A)

(43)公開日 平成13年9月21日(2001.9.21)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマト*(参考)

H 0 1 S 5/0683

H 0 1 S 5/0683

2 H 0 3 7

G 0 2 B 6/42

G 0 2 B 6/42

5 F 0 7 3

H 0 1 S 5/022

H 0 1 S 5/022

5/024

5/024

5/50

5/50

6 3 0

6 3 0

審査請求 有 請求項の数19 O L (全 15 頁)

(21)出願番号

特願2000-67606(P2000-67606)

(22)出願日

平成12年3月10日(2000.3.10)

(71)出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72)発明者 横山 吉隆

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74)代理人 100108578

弁理士 高橋 昭男 (外3名)

Fターム(参考) 2H037 AA01 BA03 CA00

5F073 AB21 AB25 AB27 AB28 FA02

FA06 FA25 GA02 GA12 GA13

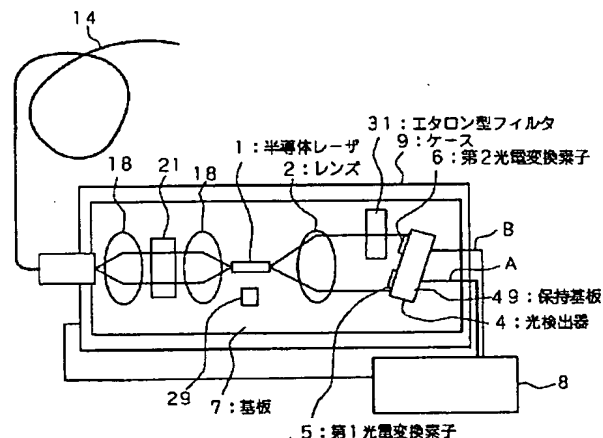
GA22 GA24

(54)【発明の名称】 波長安定化レーザモジュール

(57)【要約】

【課題】 波長が高精度に安定化されたレーザ光を出射することができる構造が簡単で小型化が可能な波長安定化レーザモジュールを得る。

【解決手段】 半導体レーザ1と、その温度を調節可能な基板7と、半導体レーザ1の出射光を平行光束に変換するレンズ2と、レンズ2を通った平行光束の一部を受光して電気信号に変換する第1光电変換素子5と、前記平行光束の一部を入射するエタロン型フィルタ31と、前記フィルタを透過した光を受光して電気信号に変換する第2光电変換素子6とを有し、第1および第2光电変換素子5, 6からの電気信号を演算して得られた波長安定化のための制御信号を半導体レーザ1および/または基板7にフィードバックして前記半導体レーザが安定化の目標とする基準波長のレーザ光を安定して出力できるようにした。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体レーザと、前記半導体レーザの温度を調節する温度調節手段と、前記半導体レーザの出射光を平行光束に変換する手段と、前記平行光束の一部を受光して電気信号に変換する第1光電変換手段と、前記平行光束の一部を入射しその波長に依存して透過率を連続的に変化させるフィルタと、前記フィルタを透過した光を受光して電気信号に変換する第2光電変換手段とを有し、

前記第1光電変換手段および第2光電変換手段からの電気信号を演算して得られた波長安定化のための制御信号を前記半導体レーザおよび/または前記温度調節手段にフィードバックして前記半導体レーザが安定化の目標とする基準波長のレーザ光を安定して出力できるようにしたことを特徴とする波長安定化レーザモジュール。

【請求項2】 前記第1光電変換手段および第2光電変換手段が前記半導体レーザの後方出射光を受光するように配置されたことを特徴とする請求項1に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項3】 前記半導体レーザの出射光を平行光束に変換する手段がレンズであり、このレンズから出射した単一の平行光束の一部が前記第1光電変換手段に入射し、他の一部が前記フィルタに入射するようにしたことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項4】 前記平行光束の平行度が $\pm 2^\circ$ 以内とされたことを特徴とする請求項1～請求項3に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項5】 前記フィルタが、前記基準波長を含む波長帯域内で透過率が波長に依存して単調に増大または減少する透過特性を有するものであることを特徴とする請求項1～請求項4のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項6】 前記フィルタが、入射角の調節によって、波長に依存する透過率変化の勾配を変化させ得るものであることを特徴とする請求項1～請求項5のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項7】 前記フィルタが、前記基準波長を含まない波長帯域において透過率が最大となるかまたは最小となる単峰性の透過特性を有するものであることを特徴とする請求項1～請求項6のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項8】 前記フィルタが、透明基板上に誘電体多層膜が形成された多層膜フィルタであることを特徴とする請求項1～請求項7のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項9】 前記フィルタが、一定波長間隔で透過率が極大と極小とを繰り返す透過率周期を有するエタロン型フィルタであることを特徴とする請求項1～請求項6のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項10】 前記半導体レーザが温度に依存して複数の波長を発振し得る波長可変型のものであり、かつ前記エタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔が下記の式1に従って設定されたことを特徴とする請求項9に記載の波長安定化レーザモジュール。

$$D = (1 - T_{\text{etalon}} / T_{\text{LD}}) \times D_0 \quad \cdots \text{式1}$$

(式1中、Dはエタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔、D0は前記半導体レーザが発振する複数の波長の間隔、T_{etalon}はエタロン型フィルタの温度が1℃変化したときの中心波長の変化量、T_{LD}は前記半導体レーザの温度が1℃変化したときの発振波長の変化量である。ただし、前記中心波長とは、透過率が最大となるある一つの波長を示す。)

【請求項11】 前記フィルタが、石英ガラスより高い屈折率を有する透明基材から形成されたことを特徴とする請求項1～請求項10のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項12】 前記透明基材がSiであることを特徴とする請求項11に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項13】 前記フィルタが、前記第2光電変換手段に固定されていることを特徴とする請求項1～請求項12のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項14】 前記フィルタが、前記第2光電変換手段の受光面上にコーティングにより形成されたことを特徴とする請求項8に記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項15】 前記第1光電変換手段と第2光電変換手段とが保持基板上に並列され、アレイ状の光検出器を形成したことを特徴とする請求項1～請求項14のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項16】 前記第1光電変換手段の受光面が、入射光の光軸から傾斜して配置されたことを特徴とする請求項1～請求項15のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項17】 前記半導体レーザが、電界吸収型半導体光変調器と集積された素子構造を有するものであることを特徴とする請求項1～請求項16のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項18】 前記温度調整手段が、ペルチェ素子であることを特徴とする請求項1～請求項17のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【請求項19】 レーザ光出力手段として光ファイバを有すると共に、少なくとも前記半導体レーザと温度調節手段と平行光束に変換する手段とフィルタと第1光電変換手段と第2光電変換手段とが単一ケース内に収納されてなることを特徴とする請求項1～請求項18のいずれかに記載の波長安定化レーザモジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は波長安定化レーザモジュールに関し、特に波長が高精度に安定化されたレーザ光を出射することができる、構造が簡単で小型化が可能な波長安定化レーザモジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信システムの光源として、従来から半導体レーザが用いられている。特に数10km以上の光ファイバ通信には波長分散の影響を抑えるためにDFBレーザなど単一軸モードの半導体レーザが用いられている。ところで例えば前記DFBレーザは、単一の波長で発振するとはいえ、その発振波長は温度や注入電流によって変化する。また光ファイバ通信システムにおいては、光源の出力強度が一定であることも重要であるので、これまでの光ファイバ通信システムにおいては、一般に半導体レーザの温度および光出力を一定にするような制御が行われてきた。基本的には半導体レーザの温度と注入電流とを一定に維持すれば光出力と発振波長とは一定に保たれる。しかし、半導体レーザが長期間の使用により劣化すると、光出力を一定に保持するための注入電流が上昇し、これに伴って発振波長が変化するようになる。ただ、この波長の変化量は僅かなので、従来の光ファイバ通信システムではほとんど問題にならなかった。

【0003】最近になると、1本の光ファイバに多数の波長の光を導入する高密度波長分割多重方式（以下「DWDM」という）の光ファイバ通信システムが主流になりつつあり、使用される複数の発振波長の間隔も100GHz、或いは50GHzと非常に狭くなってきている。この場合、光源となる半導体レーザに要求される波長安定度は例えば±50pmとなり、従来の素子温度一定、光出力一定という制御による波長安定化では不十分になってきた。また、素子温度を一定にする制御を行っても、半導体レーザモジュールの環境温度が変化すると発振波長が僅かに変化し、この僅かな変化量が問題になる場合も増えてきた。

【0004】半導体レーザの発振波長の変動を抑え安定化するために、従来からいくつかの波長安定化手段が提案されている。これら波長安定化手段の第1の従来例として特開平10-209546号公報は、図19に示すように、半導体レーザモジュールとは別体のケースに収納された波長安定化装置128を開示している。この波長安定化装置128は、光ファイバ伝送路108からカプラ109によってレーザ光の一部が分岐して導入される。この波長安定化装置128にはバンドパスフィルタとなるフィルタ103が内蔵されていて、このフィルタ103の透過光を検出する光検出器111と反射光を検出する光検出器110とが対向配置されている。この場合光検出器110、111は、半導体レーザの発振波長に対して図20のようにそれぞれ位相が反転した受光強度を出力する。そこで図20に矢印で示した交点が安定化すべき

目標の波長となるようにフィルタ103、および光検出器110、111を調整しておき、2つの光検出器110、111の検出強度が等しくなるように図示しない半導体レーザの温度制御手段にフィードバックすることで、半導体レーザの発振波長を安定化させる。またフィルタ部分には、安定化の目標とする基準波長を設定するためのスライド調整機構112が設けられている。

【0005】この波長安定化装置128は、基本的に半導体レーザモジュールとは別体のケースに収納されているので別途に設置スペースが必要になることや、コストが大幅に上昇するなどの問題がある。また、安定化のためにカプラ109によって信号光の一部を分岐するので、その分信号光の光パワーが減衰する。更に、スライド調整機構112によりフィルタ103の位置を調整するのみで目標とする基準波長の設定を行うことができる点は優れているが、この機構を実現するためには、フィルタの面内で徐々にフィルタの膜厚を変化させることで面方向の透過特性を変化させるように加工した非常に特殊で高価なフィルタを用いる必要がある。また、一般的にフィルタの透過特性はフィルタの温度によって変化する所以、フィルタ103を別途に温度調節するか、または温度による透過特性の変化を補償するような特別な電気回路が必要になる。

【0006】半導体レーザの発振波長の変動を抑え安定化する第2の従来例として、特開平4-157780号公報は、図21に示す波長安定化装置を開示している。この波長安定化装置は、基本的な波長安定化の原理は第1の従来例と同様であり、信号光の一部を分岐してフィルタ103に照射し、フィルタ103の反射光と透過光とをそれぞれ光検出器110、111で検出して演算し、図示しない半導体レーザの温度制御手段にフィードバックする。第1の従来例と異なる点は、安定化の目標とする基準波長を設定するために周波数設定部113を設け、この周波数設定部113によってフィルタ103の角度を調整することにある。

【0007】しかし第2の従来例において、フィルタ103の角度を調整すると、フィルタ103の反射光の方向が変化するので反射光を検出する光検出器110の位置も同時に調整する必要が生じる。第2の従来例では、フィルタ103の角度を調整する以外に、フィルタ103の温度を調整する方法、フィルタ103の電気光学効果を変化させる方法なども開示されているが、これらはいずれも実用化が困難である。

【0008】半導体レーザの発振波長の変動を抑え安定化する第3の従来例として、特開平9-219554号公報は、図22に示す波長安定化装置を開示している。この場合、第1の従来例および第2の従来例とは異なり、半導体レーザ101からの光を波長依存性のないビームスプリッタ115で分岐し、分岐されたそれぞれの光を受光する2つの光検出器110および光検出器111の前

に、それぞれ光の波長に依存して透過率が減少するフィルタ117および光の波長に依存して透過率が増加するフィルタ116を設置している。この結果、第1および第2の従来例と同様に2つの光検出器110、111からの信号のバランスを調整することで半導体レーザ101の波長安定化を行うことができる。この方法においても特定の波長を合わせるためにフィルタ117、116の角度を調節する手段などが必要であるが、この方法では2つのフィルタ117、116に対していずれも透過光を用いているため、角度調節を行う際、検出器110、111の位置を調整する必要がある利点がある。

【0009】しかし、スペースの限られた半導体レーザモジュールのケース内に図22に示すようにビームスプリッタ115、およびそのレーザ発振光の光軸とは垂直方向にフィルタ117、検出器110を設置することは実際上極めて困難である。また実際には半導体レーザ101からの出射光をレンズなどにより平行光束に収束するような光学系を用いないと波長安定化を行うために十分なフィルタ透過光を得ることが困難になる。この理由として、半導体レーザ101は比較的大きな放射角で光を出射しているため、半導体レーザ出射面から光検出器110、111までの距離が遠くなるに従い光検出強度が急激に低下することが挙げられる。また、図23に示すように、検出感度を上げるために光検出器104の受光面積を大きくすると、これに伴ってフィルタ103への入射面積も大きくなり、フィルタ103に入射する光の入射角に位置による大きな差が生じる。すなわち光線Aと光線Bとの入射角の差が大きくなる。ここで用いられる波長フィルタは、多層膜型であれエタロン型であれ、透過特性は光の入射角に大きく依存する特性を有することから、多層膜型の例を図24に示すように、フィルタ103への入射角が大きく異なる光線Aと光線Bとでは透過特性が大きく異なり、放射されたレーザ光全体では受光強度の波長依存性が相殺されて小さくなるか、波長依存性がなくなってしまう場合もある。この問題を回避するために、半導体レーザ101からの出射光を平行光束に収束する必要がある。しかしこの場合は部品点数が増加し、平行光束に収束するためのレンズ、フィルタ116、117、ビームスプリッタ115、光検出器110、111など、それぞれの部品の位置の調整も煩雑になり製作コストが増大する。

【0010】半導体レーザの発振波長の変動を抑え安定化する第4の従来例として、特開平10-79723号公報は、図25に示す波長安定化装置を開示している。この波長安定化装置は、波長に依存して透過率が増大する信号と波長に依存して透過率が減少する信号とを得るために、レンズ102を用いて半導体レーザ101からの出射光を或る特定の拡散角となるように調整し、この拡散光を傾斜させたフィルタ103に入射させ、その透過光を2つの受光面105、106を有する光検出器104

で検出するようになっている。ここで受光面105と受光面106とに入射する光は、フィルタ103に入射する時点で入射角がそれぞれ異なっているため、1枚のフィルタで異なる透過特性を得ることができる。

【0011】しかしこの第4の従来例においては、光学系に精密な角度調整が必要であり、2つの受光面105、106で得られるフィルタ透過光の特性は、レンズ102の位置の微小な変化に伴う半導体レーザ光の拡散角の変化、フィルタ103の角度変化、光検出器104の位置の変化などによって複雑に変化する。すなわち、受光面105および受光面106に入射するときのフィルタ透過特性を独立に制御し、特定の波長に安定化させるためには、上記の各部品の配置をそれぞれ高精度に設定する必要がある。例えば、フィルタ103の角度を調整するだけでは任意の波長を安定化するように調整することができないので、実際の装置製作には大きな問題が生じる。

【0012】半導体レーザの発振波長の変動を抑え安定化する第5の従来例として、特開平9-12107号公報は、図26に示す波長安定化装置を開示している。この波長安定化装置は、半導体レーザ101からの後方出射光をビームスプリッタ115によって分岐し、一方の分岐光はフィルタを通さずに直接光検出器110に入射して光強度検出用に用い、他方の光はフィルタ103を通して光検出器111に入射し波長検出用に用いている。この場合、フィルタ103を通さない光を検出する光検出器110の光電流が一定になるように制御することによって半導体レーザの出力を一定に制御することができる。一方フィルタ103を通った光は、図5にフィルタ103の透過率の波長依存性を示すように、波長検出用の信号となる光検出器111からの出力電流をある一定値I0に安定化することで、光出力と発振波長とを同時に制御することが可能となる。

【0013】しかし限られたスペースのケース内に、半導体レーザの出力光学系と共にビームスプリッタ115を含む波長安定化のための光学系を組み込むことはスペース的に極めて困難である。また第3の従来例と同様に、実際には半導体レーザの出射光を平行光束に収束するような光学系を用いないと、波長安定化を行うために十分なフィルタ透過光を得ることが困難になる。そこで光学系にレンズを挿入すると、このために部品点数が増加し、レンズ、フィルタ、ビームスプリッタ、検出器など、それぞれの部品の配置調整も煩雑になって製作コストが増大する。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】前記のように、従来の半導体レーザの波長安定化装置は、いずれも部品点数が多く、所要スペースが大きくなり、従来から一般に用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収納す

ることが困難であるばかりでなく、安定化の目標とする基準波長の設定が非常に難しく、製作コストが増大するなどの課題があった。本発明は前記の課題を解決するためになされたものであって、従ってその目的は、従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収納できる程度にきわめてコンパクトで、部品点数が少なく、しかも製作時には安定化の目標とする基準波長を極めて容易にかつ高精度に設定することができる、低コストの波長安定化レーザモジュールを提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】前記の課題を解決するために本発明は、半導体レーザと、前記半導体レーザの温度を調節する温度調節手段と、前記半導体レーザの出射光を平行光束に変換する手段と、前記平行光束の一部を受光して電気信号に変換する第1光電変換手段と、前記平行光束の一部を入射しその波長に依存して透過率を連続的に変化させるフィルタと、前記フィルタを透過した光を受光して電気信号に変換する第2光電変換手段とを有し、前記第1光電変換手段および第2光電変換手段からの電気信号を演算して得られた波長安定化のための制御信号を前記半導体レーザおよび／または前記温度調節手段にフィードバックして前記半導体レーザが安定化の目標とする基準波長のレーザ光を安定して出力できるようにした波長安定化レーザモジュールを提供する。

【0016】本発明の前記波長安定化レーザモジュールは、第1光電変換手段が半導体レーザから出射され平行光束に変換された光束の一部を直接に受光し、前記光束の他の一部は、波長に依存して透過率を連続的に変化させるフィルタを通した後に第2光電変換手段が受光するので、第1光電変換手段では半導体レーザの光出力に依存した光電流を取り出すことができ、第2光電変換手段では、半導体レーザがその時点で発振している光の出力に依存すると共に波長にも依存して変化した光電流を取り出すことができる。従ってこの波長安定化レーザモジュールから取り出した前記2つの光電流から演算すれば、光の出力変動に依存した電流値と、波長変動に依存した電流値がそれぞれ独立に得られる。前記フィルタでは波長と透過率との関係がわかっているため、現時点で検出された波長変動に依存した電流値と、安定化の目標とする基準波長によって出力される電流値とを比較することにより、現在半導体レーザが発振している光の波長と基準波長との偏倚が求められる。半導体レーザの波長は一般に注入電流と温度とに依存して変動するので、前記偏倚量がゼロとなるような制御信号を前記半導体レーザの注入電流および／または前記温度調節手段にフィードバックすることにより、半導体レーザの波長変動を抑制し、基準波長に高精度に安定化されたレーザ光を出力することができる。もちろん第1光電変換手段では半導体レーザの光出力の変動が検知されているので、この出

力偏倚の信号を半導体レーザにフィードバックすることで、半導体レーザの光出力も高精度に安定化することができる。本発明の波長安定化レーザモジュールは、波長に依存した信号と波長に依存しない信号とを得るために従来用いられていたビームスプリッタなどの部品を用いないので、部品点数が少なく、スペース効率が良好で従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収容できる程度にきわめてコンパクトに構成することができ、製作時には組み立ても調整も容易であるから製造コストが大幅に低減できる利点がある。

10

【0017】前記第1光電変換手段および第2光電変換手段は、前記半導体レーザの後方出射光を受光するように配置されていることが好ましい。これによって、半導体レーザの前方出射光は全量を光通信のために使用することができ、従来例の一部に見られるような波長検出のために光伝送路からレーザ光の一部を分岐することによる伝送光パワーの損失は起こらない。

20

【0018】前記において、半導体レーザの出射光を平行光束に変換する手段はレンズであり、このレンズから出射した単一の平行光束の一部が前記第1光電変換手段に入射し、他の一部が前記フィルタに入射するようにされていることが好ましい。半導体レーザの出射光は一般に拡散光であるが、この拡散光をレンズを用いて平行光束に変換し、レンズから出射した単一の平行光束を横断してその横断面の一部に前記フィルタを挿入し、平行光束の一部が前記フィルタに入射するようにして光束の残り部分の光が前記第1光電変換手段に入射するようにすることで、フィルタへの光の入射角が入射部位によって異なることによる透過特性への悪影響がなくなり、より高精度の波長安定化が達成できると共に、光の拡散による前記第1および第2光電変換手段における受光強度の減少を防止することができ、しかも拡散防止のために前記第1および第2光電変換手段に向けてそれぞれ別のレンズを設置する必要がないので部品点数が節減でき、装置をコンパクトに構成できる。

30

40

【0019】前記平行光束の平行度、すなわち光軸に対する偏倚角は $\pm 2^\circ$ 以内とされていることが好ましい。これによってフィルタの部位によって入射角が異なることによる透過特性への悪影響が最小化され、極めて高精度な波長安定化が達成できるようになる。

【0020】前記フィルタは、前記基準波長を含む波長帯域内で透過率が波長に依存して単調に増大または減少する透過特性を有するものであることが好ましい。前記基準波長を含む波長帯域内で波長の変化に伴う透過率変化、すなわち透過スペクトルの勾配が単調に増大または減少しているフィルタを選択すれば、基準波長に対して長波長側または短波長側に変動するレーザ光の波長を、フィルタ透過光の明側変化または暗側変化として第2光電変換手段が直ちに検知することができる。

50

【0021】前記フィルタは、入射角の調節によって波

長に依存する透過率変化の勾配を変化させ得るものであることが好ましい。入射角の調節によって波長に依存する透過率変化の勾配を変化させることができれば、前記勾配を急峻にすることによって波長変動に関する検知感度を向上させ高精度の波長安定化が可能になり、一方勾配を緩徐にすれば変動を検知し得る波長帯域幅を拡大することができる。

【0022】前記フィルタは、前記基準波長を含まない波長帯域において透過率が最大となるかまたは最小となる単峰性の透過特性を有するものであることが好ましい。基準波長が透過特性の最大透過帯または最小透過帯にあると、波長変動に対する感度が著しく低下する。フィルタの透過特性が単峰性であれば、半導体レーザの発振し得る波長帯域内で、存在したとしても僅かな帯域である最大透過帯または最小透過帯を除いて、広い波長帯域で高感度の波長検出が可能となる。

【0023】前記フィルタは、透明基板上に誘電体多層膜が形成された多層膜フィルタであることができる。多層膜フィルタはガラス基板の厚さを任意に設定することができるので、基板を薄くしてコンパクトな構成にできる利点がある。

【0024】また前記フィルタは、一定波長間隔で透過率が極大と極小とを繰り返す透過率周期を有するエタロン型フィルタであることができる。エタロン型フィルタは半導体レーザの発振し得る波長帯域内に複数の極大点と極小点とを有するので、各極大点と極小点とを結ぶスペクトルの勾配にそれぞれ基準波長を設定することができ、単一の装置で波長可変型半導体レーザを光源として用いる多重光伝送システムにおける複数の基準波長の安定化を実現させることができる。

【0025】前記半導体レーザは、温度に依存して複数の波長を発振し得る波長可変型のものであり、かつ前記エタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔は、下記の式1に従って設定されていることが好ましい。

$$D = (1 - T_{\text{etalon}} / T_{\text{LD}}) \times D_0 \quad \cdots \text{式1}$$

前記式1中、Dはエタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔、D₀は前記半導体レーザが発振する複数の波長の間隔、T_{etalon}はエタロン型フィルタの温度が1℃変化したときの中心波長の変化量、T_{LD}は前記半導体レーザの温度が1℃変化したときの発振波長の変化量である。ただし、前記中心波長とは、透過率が最大となるある一つの波長を示す。温度に依存して波長を変化させ得る半導体レーザを用い、前記式1に従って前記エタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔を設定すれば、多重光伝送システムに用いられる複数の基準波長が前記透過率周期の極大点と極小点とを結ぶスペクトル勾配に配位するように設定することができ、これによって半導体レーザが発振する各波長を単一の波長安定化装置で安定化することができる。

【0026】前記フィルタは、石英ガラスより高い屈折

率を有する透明基材から形成されていることが好ましい。この石英ガラスより屈折率が高い透明基材はSiであることが好ましい。例えばエタロン型フィルタや多層膜フィルタの基材として従来から用いられている石英ガラスより屈折率が高い透明基材を用いれば、フィルタの厚さをより薄くすることができ、装置の所要スペースを一層縮小することができる。Siは透明で屈折率が石英ガラスより高く、かつ半導体分野で広く用いられている比較的安価な基材であるから、本発明に用いるフィルタの基材として好適である。

【0027】前記フィルタは、前記第2光電変換手段に固定されていてもよく、また第2光電変換手段の受光面上にコーティングにより形成されていてもよい。これらの場合はいずれも、フィルタを別体として組み込む場合に比べ、一層コンパクトな装置が得られる。

【0028】前記第1光電変換手段と第2光電変換手段とは保持基板上に並列され、アレイ状の光検出器を形成していることが好ましい。本発明の波長安定化レーザモジュールにおいては、第1光電変換手段と第2光電変換手段との間で煩雑な角度あわせを必要としないので、これらを同じ保持基板上に並列した光検出器として用いれば部品点数も組立て工数も削減され製造コストを低減することができる。

【0029】前記第1光電変換手段の受光面は、入射光の光軸から傾斜して配置されていることが好ましい。これによって、第1光電変換手段の受光面から半導体レーザへの反射戻りが排除され、戻り光による半導体レーザの発振特性の変化を抑制することができる。

【0030】前記半導体レーザは、電界吸収型半導体光変調器と集積された素子構造を有するものであることができる。半導体レーザが電界吸収型半導体光変調器と集積されていると、一般に用いられているDFBレーザと外部変調器とを別個のモジュールとして構成する場合に比べ、光伝送システム全体をコンパクトに構成できるようになる。

【0031】前記温度調整手段は、ペルチェ素子であることが好ましい。ペルチェ素子は任意の温度範囲で電子制御によって温度を精密に設定できると共に、肉薄に構成されているのでモジュール基板と密着してケース内にコンパクトに収容できる。

【0032】本発明の波長安定化レーザモジュールは、レーザ光出力手段として光ファイバを有すると共に、少なくとも前記半導体レーザと温度調節手段と平行光束に変換する手段とフィルタと第1光電変換手段と第2光電変換手段とが単一ケース内に収納されてなることが好ましい。本発明の波長安定化レーザモジュールは、波長安定化装置の部品点数が少なく調整も容易であることから、従来用いられていた波長安定化装置を付属していない半導体レーザモジュールの小型ケース内にも容易に組み込むことができる。

【0033】

【発明の実施の形態】次に本発明の実施の形態を図面を用いて具体的に説明するが、以下の実施形態は本発明を何ら制限するものではない。

(実施形態1) 本発明の実施形態1の波長安定化レーザモジュールを図1に示す。この波長安定化レーザモジュールは、ケース9内に半導体レーザ1と、この半導体レーザから拡散放射される後方出射光を平行光束に変換するレンズ2と、このレンズを透過した平行光束の一部を直接受光して電気信号に変換する第1光電変換素子5と、レンズ2を透過した平行光束の一部を入射するエタロン型フィルタ31と、このエタロン型フィルタを透過した光を受光して電気信号に変換する第2光電変換素子6とを有している。

【0034】半導体レーザ1は、ペルチェ素子を備えた基板7に装着されて駆動中の温度が調節できるようになっている。エタロン型フィルタ31は、図示しない角度調節機構によって入射角が調節できるようになっている。また第1光電変換素子5と第2光電変換素子6とは、図2に示すように、保持基板49上に並列され、アレイ状の光検出器4を形成している。この光検出器4は、半導体レーザへの反射戻り光が生じないように、入射光の光軸に対して傾斜して設置されている。

【0035】この実施形態1の波長安定化レーザモジュールは、半導体レーザ1がレーザ光を放射すると、その後方出射光がレンズ2に入射して平行光束に変換され、この平行光束の一部が第1光電変換素子5に直接入射して対応する電気信号Aに変換される。また前記平行光束の他の一部はエタロン型フィルタ31に入射し、エタロン型フィルタ31は、この入射した光の波長に依存して透過率が変化した光を出射し、この出射光が第2光電変換素子6に入射して対応する電気信号Bに変換される。従って電気信号Aは、半導体レーザ1のその時点での光出力情報を担っており、電気信号Bは、半導体レーザ1のその時点での光出力情報とその時点で半導体レーザ1が発振している光の波長情報とが共に含まれた情報を担っている。このときエタロン型フィルタ31の受光面の角度を光軸に対して適切に調節すれば、電気信号Bは、安定化の目標とする基準波長を中心としてその前後の波長変動の情報を所望の感度で演算回路8に伝達する。

【0036】電気信号Aと電気信号Bとは、実施形態1の波長安定化レーザモジュールから取り出され、演算回路8に送られる。演算回路8は、電気信号Aの変動から半導体レーザ1の光出力の変動を検知し、現行出力と基準出力との差を出力偏倚信号として図示しない注入電流調節装置に連続的にフィードバックし、半導体レーザの光出力を安定化させる。また演算回路8は、電気信号Aと電気信号Bとから波長変動に依存する信号成分を取り出し、予め演算回路8内に記憶されている波長に対する透過率のスペクトルデータを参照して、半導体レーザ1

が現在発振している光波長を求め、この現行波長と安定化の目標とする基準波長との差を波長偏倚信号として生成する。半導体レーザの波長は一般に注入電流と温度とに依存して変動するので、前記波長偏倚信号は、図示しない半導体レーザの注入電流調節手段および基板7に設けられたペルチェ素子のいずれか一方または双方にフィードバックし、これによって半導体レーザ1の出力波長を安定化する。

【0037】実施形態1の波長安定化レーザモジュールは、波長に依存した信号と波長に依存しない信号とを得るために従来用いられていたビームスプリッタなどの部品を用いず、レンズも1個のみで済むので、部品点数が少なく、スペース効率が良好で、従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収容できる程度にきわめてコンパクトに構成することができ、製作時には組み立ても調整も容易であるから製造コストが大幅に低減できる利点がある。

【0038】次にエタロン型フィルタ31およびその作用について詳しく説明する。エタロン型フィルタは、ファブリーペロー干渉計とも言われるように、光の干渉によって非常に狭い波長幅の光だけを透過する特性を持っている。基本構造は、図3に示すように入出射面が高精度(1/100 波長程度)に平面研磨された厚さdの平行な光学ガラスである。光は屈折率nのガラス内部で多重反射を起こす。ここで反射光と透過光が干渉することにより、図4に示すように波長に対して透過率が高い部分と低い部分を繰り返す透過特性を持つフィルタとなる。図4に示す透過率ピークの間隔はFSR(自由スペクトル間隔: Free Spectral Range)と呼ばれている。

このFSRの大きさを周波数の単位で表すと、光が垂直に入射するとき、エタロン型フィルタの厚さd、屈折率n、光速cを用いて、

$$FSR = c/2nd \quad \cdots \text{式2}$$

と表すことができる。従って、ガラスの屈折率n、厚さdを選択することによってエタロン型フィルタのFSRを任意に設定することができる。

【0039】波長安定化制御を行うに際しては、図5に示すように、エタロン型フィルタの透過率が単調に減少する波長帯域、または単調に増大する波長帯域に安定化の目標とする基準波長 λ_0 が位置するように設定する。透過率スペクトル上でこの基準波長 λ_0 が位置する点を波長安定化点Sと呼ぶことにする。図5に矢印で示したように、いま或る透過率ピークの右肩で単調に透過率が減少している帯域の中間に波長安定化点Sを設定する場合を考える。このとき、基準波長 λ_0 となる波長安定化点Sでのエタロン型フィルタの透過率(の光電流換算値)をI0とすると、半導体レーザ出射光の波長が基準波長 λ_0 よりも長い時は透過率がI0よりも小さくなり、逆に基準波長 λ_0 よりも短い時は透過率がI0よりも大きくなる。このように波長安定化点

S付近の或る波長帯域内であれば、透過率(I)の増減から、その時点における半導体レーザ出射光の波長を検知することができる。そして、透過率(I)が常にI₀を保つように制御することによって、半導体レーザの出射波長を安定化させることができる。

【0040】ここで例えば半導体レーザ1の前方光出力が20mWとなるように、第1光電変換素子5で検出される光電流の基準値を設定し、常にこの基準値となるように半導体レーザ1の注入電流を制御しておく。この状態では光出力一定モードとなっている。さらに、図5に矢印で示した波長安定化点Sに対して、第2光電変換素子6の光電流が基準電流値(すなわち基準透過率)I₀となるように半導体レーザ1の温度を制御すれば波長安定化が実現される。この場合の制御方法はアナログ電子回路でフィードバックループを形成してもよいし、ADコンバータでデジタルデータに変換しコンピュータ上で制御回路を構築するソフトウェアフィードバックを用いてもよい。

【0041】また、図6(a)、(b)に示すように、半導体レーザの発振波長は、素子の温度ばかりでなく半導体レーザ1の注入電流を変化させることでも変化し、逆に、光出力は注入電流ばかりでなく温度を変化させたときにも変化する。従って、図1における第1光電変換素子5の光電流を制御して光出力を一定に制御するために、注入電流と素子温度とを同時に制御するフィードバックループを用いてもよい。同様に第2光電変換素子6の光電流を制御して発振波長を一定にするために、注入電流と素子温度を同時に制御するフィードバックループを用いてもよい。

【0042】前記のように、波長安定化レーザモジュールの波長制御性は、エタロン型フィルタの透過特性に大きく依存している。特に図7に示すように、波長安定化点Sを含む透過率周期の肩の部分の勾配、すなわち $dI/d\lambda$ の大きさは、波長安定化のフィードバックループの利得に影響するので非常に重要である。エタロン型フィルタを用いた場合の透過特性の特徴としては、図7のように、エタロン型フィルタの入射面反射率に大きく依存する。すなわち入射面の反射率が大きい場合はデルタ関数に近い急峻なピークを持つ透過特性となり、波長安定化点S1での勾配 $dI/d\lambda$ は大きくなる。ただし、このとき波長安定化が可能な波長幅は狭くなる。一方、エタロン型フィルタの入射面反射率が小さい場合はサインカーブ的な緩やかな透過特性となり、波長安定化が可能な波長幅は広くなる。ただしこのとき波長安定化点S2での勾配 $dI/d\lambda$ は小さくなる。そこで、反射率を大きくすることは特に高精度の波長安定化が必要な場合に適している。反射率を小さくすることは波長安定度よりも安定化可能な波長帯域幅を大きくしたい場合に適している。

【0043】なお、上記の波長安定化が可能な波長帯域

幅を調整するためにはエタロン型フィルタのFSRを調整することが有効である。波長安定化が可能な波長幅を広くするためには、FSRを大きくし、なおかつエタロン型フィルタの入射面反射率を小さくすればよい。勾配 $dI/d\lambda$ が波長安定化を行うのに十分な大きさであれば、本発明の波長安定化レーザモジュールにおいては、任意のFSRを有するエタロン型フィルタを用いることができる。

【0044】本発明の波長安定化レーザモジュールでは、エタロン型フィルタの透過特性を入射角の調節のみで自由に変化させることができる。例えば図8(a)に示すように、予めエタロン型フィルタのFSRを100GHz(0.8nm)と非常に狭い値に設定し、入射面の反射率も60%程度と高めに設定して、エタロン型フィルタ31受光面への平行光束の入射角を0°とすると、波長安定化点Saにおける勾配は非常に大きくなる。ここで、エタロン型フィルタの入射角を次第に傾斜させると、エタロン型フィルタのFSRは図8(b)、

(c)のようにシフトし、さらに強くエタロン型フィルタを傾斜させると、図8(d)のようにピークがFSRの幅(1周期分)だけシフトするに至る。このとき、入射角の増加に伴ってエタロン型フィルタの入射面反射率が低下することなどの理由から、透過特性の振幅が小さくなり、図8(e)に示すように波長安定化点Seでの勾配が小さくなる。このように本発明の波長安定化レーザモジュールでは全く同一の部品構成で、単にエタロン型フィルタ31の角度を調整するだけで、安定化する基準波長の設定ばかりでなく、波長安定化のためのフィードバックループにおいて重要なパラメータである波長安定化点Sでの勾配の調整も行うことができる。

【0045】エタロン型フィルタ31の角度を変化させても、光検出器4への光軸はずれないので、安定化する基準波長 λ_0 を設定するためには、エタロン型フィルタ31の入射角を調整するだけでよく、光検出器4の位置などは調整不要である。これは、従来例1~4では2つの波長に依存する信号の差分がゼロになる点で安定化するなど、2つの信号レベルを調整する必要があったが、本発明の構成ではそれぞれの光電変換素子5、6の信号を独立に演算回路8に出力するので、波長安定化レーザモジュールのケース内で2つの信号のレベル調整を行う必要がない。すなわち、光検出器4の位置ずれなどに対する許容幅が大きくなる。

【0046】ところで、本発明の波長安定化レーザモジュールがDWDMに適用される場合には、特に高い波長精度を確保することが求められる。そして高い波長精度を得るためには、前記のように波長安定化点Sにおける勾配を大きくすることが有効である。すなわち本発明に用いるフィルタの透過特性の振幅(ON/OFF比)を大きくする必要がある。ここで、例えば図17に示すように、レンズ2により収束された平行光束の平行度が悪

く、すなわち平行からのビーム偏倚角が大きく、ビームが広がり（または狭まり）を持つ場合、第2光電変換素子6が受光する光には異なる角度でフィルタに入射した光が含まれることになる。一方、例えばエタロン型フィルタには透過特性の入射角依存性があるので、光の入射角に幅がある場合にはフィルタ透過光の波長に帯域幅が生じることになる。いまこの帯域幅を「受光波長幅」と呼ぶと、波長精度を向上しようとするればこの受光波長幅を狭くする必要があることになる。受光波長幅は、例えば100pmを越えると、精度の点でDWDM用の波長安定化装置には適用が困難になることが実験の結果わかった。そこで、受光波長幅が例えば100pm以下となるような光の平行度が求められることになる。

【0047】図18に前記のビーム偏倚角と受光波長幅との関係の一例を示す。図18は、第2光電変換素子6の受光径が0.05mmであり、受光面の中心位置がレンズの中心から0.2mmずれて配置され、またレンズ2の主面位置から受光面までの距離が1mmあり、フィルタは光軸Xに対して垂直に配置された場合の例を示している。図18から明らかなように、DWDM用の波長安定化装置に適用するために受光波長幅を100pm以下にしようとするれば、レンズ2により収束された平行光束の平行度（ビーム偏倚角 β ）は $\pm 2^\circ$ 以内とされることが望ましいことがわかる。ところで平行度が $\pm 2^\circ$ 以内となるように実装することは、例えば光ファイバに集光するレンズの実装精度などに比べるとはるかに容易であり、非球面レンズなどの高価な光学部材を用いることなく容易に実現することができる。

【0048】実施形態1において実際の波長安定化レーザモジュールは、図1に示すように、基板7上に光ファイバ結合用レンズ18、光アイソレータ27、温度検出用のサーミスタ29などが搭載され、半導体レーザ1、レンズ2、エタロン型フィルタ31、二つの光電変換素子5、6を備えた光検出器4と共に、従来の半導体レーザモジュールと同様なサイズのケース9内に組み込まれ、これに接続された光ファイバ14から光通信用の光を出射する構成となっている。基板7は付属するペルチェ素子によって温度制御可能とされていて、半導体レーザ1の温度を制御して発振波長を安定化する共に、ケース内の全ての光学部品を一定の温度に制御する。このように実施形態1の波長安定化レーザモジュールは、従来の半導体レーザモジュールのケースに収納可能な非常にコンパクトな構成となっている。

【0049】以上詳しく説明したように、半導体レーザ1、レンズ2、エタロン型フィルタ31、2つの光電変換素子5、6を用いた実施形態1の波長安定化装置を従来の半導体レーザモジュールのケース9内に組み込むことにより、波長が高精度に安定化された半導体レーザモジュールが得られる。

【0050】（実施形態2）図9は、本発明の実施形態

2の波長安定化レーザモジュールに含まれる波長安定化装置を示している。以下「波長安定化装置」とは、波長安定化レーザモジュール内に組み込まれた少なくとも半導体レーザ、レンズ、フィルタ、および第1、第2光電変換素子を含むアセンブリを意味する。実施形態2は、実質的に実施形態1と同様であるが、ただし波長依存性の信号を得るためのフィルタとしてエタロン型フィルタに代わって誘電体多層膜がガラス基板上に形成された多層膜フィルタ32を用いている。多層膜フィルタ32を用いる場合、ガラス基板の厚さを任意に設定することができるので、基板を薄くしてコンパクトな構成にできる利点がある。実施形態2の作用や使い方は実施形態1と実質的に同様である。

【0051】（実施形態3）図10は、本発明の実施形態3における波長安定化装置を示している。実施形態3は、波長依存性のある信号を得るためのフィルタ33が一方の光電変換素子（第2光電変換素子6）に貼り付けて固定されている点で実施形態1と異なる。このフィルタ33は実施形態1で用いたエタロン型フィルタであっても、実施形態2で用いた多層膜フィルタであっても、またその他の同様な機能を有するフィルタであってもよい。この実施形態3の場合、透過率周期波長の調整や波長に依存した透過率の勾配の調整、また光検出強度の最適化は、フィルター体型の光検出器41の光軸に対する角度や位置を実装時に最適化することで容易に行うことができる。実施形態3の波長安定化レーザモジュールは実施形態1または実施形態2に比べて更にコンパクトに波長安定化装置を組み込める利点がある。

【0052】（実施形態4）図11は、本発明の実施形態4における波長安定化装置を示している。実施形態4は、波長依存性のある信号を得るためのフィルタ34が一方の光電変換素子（第2光電変換素子6）にコーティングにより形成されている点で実施形態1と異なる。このフィルタ34は誘電体多層膜が第2光電変換素子6の受光面に直接コーティングされたものである。この実施形態では、第2光電変換素子6が誘電体多層膜の基板を兼ねているので、部品点数が更に減少すると共に光検出器42の厚みも、例えば実施形態3などの場合に比べて大幅に減少し、非常にコンパクトな波長安定化レーザモジュールが得られる。

【0053】（実施形態5）図12は、本発明の実施形態5における波長安定化装置を示している。実施形態5は、実質的に実施形態1と同様であるが、ただし半導体レーザとして、電界吸収型半導体光変調器と集積された素子構造を有する半導体レーザ11を用いている。この半導体レーザ11は、電界吸収型半導体光変調器と集積されているので、一般に用いられているDFBレーザと外部変調器とを別個のモジュールとして構成する場合に比べ、光伝送システム全体をコンパクトに構成することができる利点がある。

【0054】（実施形態6）図13は、本発明の実施形態6における波長安定化装置の部分を示している。実施形態6は、実質的に実施形態1と同様であるが、ただし半導体レーザとして波長可変型半導体レーザ12を用いている点が異なり、またフィルタとしては特にFSRが90GHzのエタロン型フィルタ35を用いている。

【0055】次に波長可変型半導体レーザについて説明する。波長可変型半導体レーザは、1つのレーザ素子でありながら発振波長を変化させることができるものである。近年、急速に広まっているDWDMシステムでは、波長の異なるチャンネル毎に異なる半導体レーザを含む光源ユニットが必要である。またバックアップ用にも同数のユニットが必要となり、DWDMシステムのチャンネル数の増大により、バックアップのコストが膨大化する傾向にある。1つの波長可変レーザで複数のチャンネルのバックアップを行うことができれば、コストはその分だけ軽減される。このような用途を中心として、2ないし4チャンネル、またはそれ以上のチャンネルをカバーするような波長可変型半導体レーザの需要が高まってきている。最も一般的な構造で、実用化に近いものは、従来のDFB半導体レーザの温度を変化させることにより発振波長を変化させるタイプの波長可変型半導体レーザである。通常、波長1.55ミクロン帯のDFBレーザは、素子温度を10℃変化させると、発振波長が約1nm変化する。すなわち、図14に示すように、±12℃だけ素子温度を変化させることによって、100GHz（0.8nm）間隔で4チャンネル分に相当する2.4nmをカバーすることができる。

【0056】実施形態6の波長安定化レーザモジュールには、前記4チャンネルをカバーする波長可変型半導体レーザ12が組み込まれている。このように同一間隔の複数の波長で安定化制御を行うためには、FSRがこの波長間隔と同一のエタロン型フィルタを用い、安定化する基準波長ごとに異なる透過率周期を検出する構造にすればよい。ただし実際には、エタロン型フィルタの素材として用いられる一般的な石英ガラスには透過率周期に温度依存性が存在する。例えば実施形態1におけるように、1つの基準波長を安定化する場合であれば、制御する温度範囲は±1℃以内程度でよい。しかし実施形態6のように半導体レーザの素子温度を24℃も変化させる場合は、エタロン型フィルタの温度特性の影響が無視できなくなる。図15の上段に示すように、一般的なエタロン型フィルタでは温度が10℃変化することによって中心波長の位置が0.1nmだけシフトする。

【0057】本発明における波長安定化レーザモジュールでは、エタロン型フィルタ35と半導体レーザ12は同一の温調基板7上に実装し、同一温度になるようにして温度制御を行うようにしているので、半導体レーザ12の発振波長の変化にともなって基板7の温度が変化する場合、エタロン型フィルタの透過率は温度変化に伴っ

て、図15の下段に示すような波長依存性を示すようになる。すなわち、実装時のFSRは元のFSRよりも広がる。これを実効的なFSRと呼ぶ。そこでこの実効的なFSRをDWDMシステムの波長間隔である100GHz

（0.8nm）に整合するように設計すれば、各チャンネルで波長安定化を行うことができるようになる。

【0058】前記エタロン型フィルタにおける元のFSRと実効的なFSRとは、このエタロン型フィルタの温度特性と半導体レーザの発振波長の温度特性を使って次のように表すことができる。

$$D = (1 - T_{\text{etalon}} / T_{\text{LD}}) \times D_0 \quad \cdots \text{式1}$$

式1中、Dはエタロン型フィルタの透過率周期の波長間隔、D0は前記半導体レーザが発振する複数の波長の間隔、T_{etalon}はエタロン型フィルタの温度が1℃変化したときの中心波長の変化量、T_{LD}は前記半導体レーザの温度が1℃変化したときの発振波長の変化量である。ただし、前記中心波長とは、透過率が最大となるある一つの波長を示す。

【0059】次に、波長可変半導体レーザ12において、複数の基準波長を安定化する方法について説明する。図14において、ch1からch4までの波長（ここでは1555.75nm～1558.17nmに設定する）で作動する波長可変半導体レーザを用いる。一方、ch1からch4までの作動温度は図14に示すように、18℃、26℃、34℃、および42℃である。このときT_{LD}は約0.1nm/℃、T_{etalon}は約0.01nm/℃となるので、実効的なFSRを100GHzにするためには、エタロン型フィルタの元のFSRを90GHzにすればよいことがわかる。その上でこのエタロン型フィルタの角度を調整すれば、各温度での透過率の波長依存性は図15上段のようになり、実効的なFSRは図15の下段のように100GHzとほぼ等しくすることができる。このように設定したエタロン型フィルタを波長モニタ用の第2光電変換素子6の前に設置することで、各チャンネルにおいて実施形態1で説明したと同様に波長安定化を行うことができる。

【0060】前記の例では、エタロン型フィルタの透過率周期の右肩部分の傾斜を用いて波長の安定化を行っているが、透過率周期の左肩を使用しても同様の結果が得られることはいうまでもない。更に、透過率周期の左右双方の肩を用いて、FSRの半分の間隔、ここでは50GHz間隔で波長安定化を行うことも可能である。ただしこの場合は、チャンネルごとにフィードバックループにおいて制御方向が反転するので、波長安定化レーザモジュール中で補正する必要がある。

【0061】前記の例では元のエタロン型フィルタのFSRとして90GHzの例を示したが、この値はエタロン型フィルタの温度特性によって最適値が異なるので、エタロン型フィルタの温度特性を求めた後にFSRを設定する必要がある。また、実効的なFSRを複数の基準波

長の間隔と合わせる際には、通常、 $\pm 3\%$ 程度の精度があればよい。ただし、安定化可能な波長帯域、安定化する波長チャンネル数などに大きく依存し、安定化可能な波長帯域が狭い場合や安定化する波長チャンネル数が多い場合は、より高い精度が必要となる。

【0062】（実施形態7）図16は、本発明の実施形態7における波長安定化装置の部分を示している。実施形態7は、実質的に実施形態1と同様であるが、ただし波長依存性の信号を得るためのフィルタとしてSi基材のエタロン型フィルタ36を用いている。エタロン型フィルタとしては通常、石英基材のものが用いられているが、石英基材は高価であるので、これを材料費、加工費の安いSiに置き換えることは有利である。Siは光通信に用いる1.3ミクロンないし1.6ミクロン帯ではほとんど透明であり、低損失のフィルタとして十分な特性がある。またSiは、近年成熟しつつあるマイクロマシン技術が適用できる可能性が大きく、マイクロマシン技術によってSi基板フィルタの角度調整や位置調整の高精度制御が可能になる可能性がある。

【0063】更に、Siは石英ガラスよりも屈折率が約2倍高いので、フィルタの厚さを薄くすることができる。特に、FSRを50GHz以下程度の小さい値に設定する場合、石英ガラス基板のエタロン型フィルタでは厚さが2mm以上になり、フィルタのエッジでの回折光が第1光電変換素子5に入射して誤動作を招く可能性がある。このときフィルタ基板としてSiを用いると、FSRが50GHzの場合でもフィルタの厚さは1mm程度となり前記の問題が解消する。

【0064】以上例示した各実施形態において、第1および第2の光電変換素子は、2つの受光面を持つ集積化されたアレイ状の光検出器4として示したが、第1および第2の光電変換素子はそれぞれ単体の素子を並列して設置してもよい。単体であれ、アレイ状の光検出器であれ、これら第1および第2の光電変換素子は特性や受光面積が同じであっても異なってもよい。

【0065】

【発明の効果】本発明の波長安定化レーザモジュールは、半導体レーザの出射光を平行光束に変換する手段と、前記平行光束の一部を受光して電気信号に変換する第1光電変換手段と、前記平行光束の一部を入射しその波長に依存して透過率を連続的に変化させるフィルタと、前記フィルタを透過した光を受光して電気信号に変換する第2光電変換手段とを有しているので、高精度でありながら部品点数が少なく、スペース効率が良好で従来から用いられている半導体レーザモジュールのケース内に収容できる程度にきわめてコンパクトに構成することができ、製作時には組み立ても調整も簡単であるから製造コストが大幅に低減できる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態1を示す構成図である。

【図2】 図1における光検出器を示す平面図である。

【図3】 図1におけるフィルタの一例を示す斜視図である。

【図4】 エタロン型フィルタの波長と透過率との関係を示す透過スペクトル図である。

【図5】 エタロン型フィルタにおける波長安定化作用を説明するための透過スペクトル図である。

【図6】 (a)および(b)は、半導体レーザの光出力変動要因を示すグラフである。

10 【図7】 エタロン型フィルタの透過特性を説明するための透過スペクトル図である。

【図8】 (a)～(e)は、エタロン型フィルタにおけるピーク波長の変化を説明するための透過スペクトル図である。

【図9】 本発明の実施形態2における波長安定化装置を示す構成図である。

【図10】 本発明の実施形態3における波長安定化装置を示す構成図である。

【図11】 本発明の実施形態4における波長安定化装置を示す構成図である。

【図12】 本発明の実施形態5における波長安定化装置を示す構成図である。

【図13】 本発明の実施形態6における波長安定化装置を示す構成図である。

【図14】 エタロン型フィルタの透過特性の温度依存性を説明するための透過スペクトル図である。

【図15】 エタロン型フィルタの透過特性の温度依存性を説明するための透過スペクトル図である。

【図16】 本発明の実施形態7における波長安定化装置を示す構成図である。

【図17】 レンズ透過光の平行度を示す概念図である。

【図18】 ビーム偏倚角と受光波長幅 $\Delta\lambda$ との関係を示すグラフである。

【図19】 従来の波長安定化装置の一例を示す構成図である。

【図20】 図19の波長安定化装置の作用を説明するための光電流スペクトル図である。

【図21】 従来の波長安定化装置の他の一例を示す構成図である。

40 【図22】 従来の波長安定化装置の更に他の一例を示す構成図である。

【図23】 図21の波長安定化装置の作用を説明するためのブロック図である。

【図24】 図21の波長安定化装置の作用を説明するための透過スペクトル図である。

【図25】 従来の波長安定化装置の更に他の一例を示す構成図である。

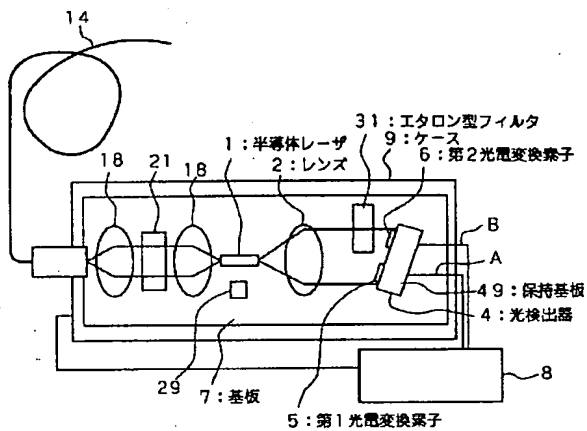
【図26】 従来の波長安定化装置の更に他の一例を示す構成図である。

50 【符号の説明】

21

- 1 半導体レーザ
- 11 半導体レーザ
- 12 半導体レーザ
- 2 レンズ
- 3 フィルタ
- 31 エタロン型フィルタ
- 32 多層膜フィルタ
- 33 (貼り付けられた) フィルタ
- 34 (コーティングされた) フィルタ

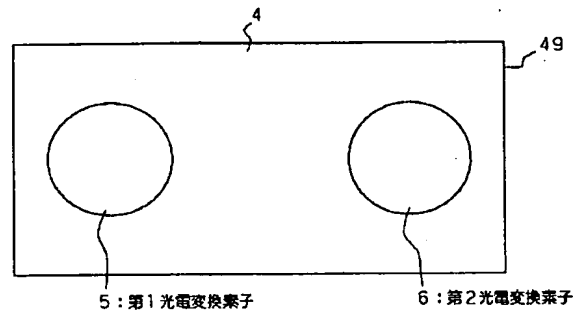
【図1】



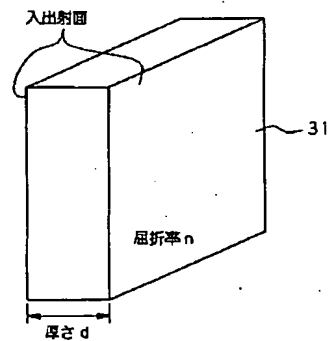
22

- 35 エタロン型フィルタ
- 4 光検出器
- 41 光検出器
- 42 光検出器
- 49 保持基板
- 5 第1光電変換素子
- 6 第2光電変換素子
- 7 (温度調節可能な) 基板
- 9 ケース

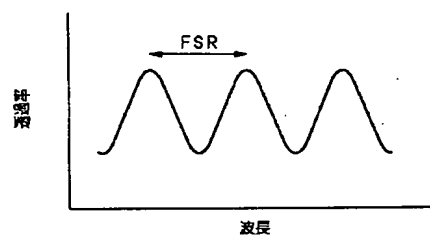
【図2】



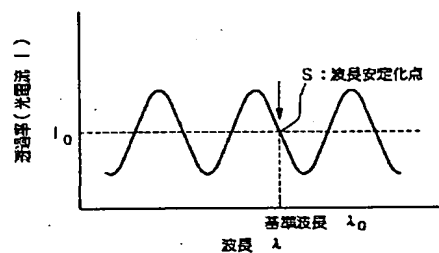
【図3】



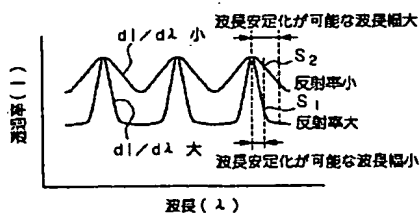
【図4】



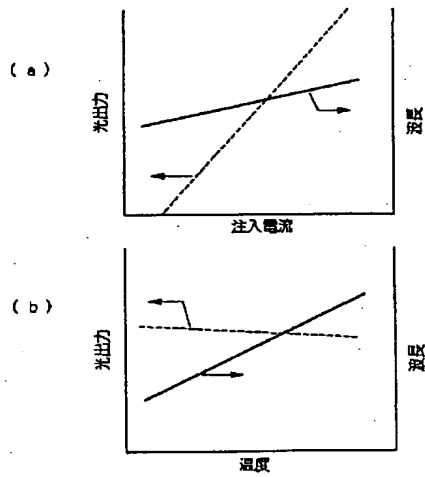
【図5】



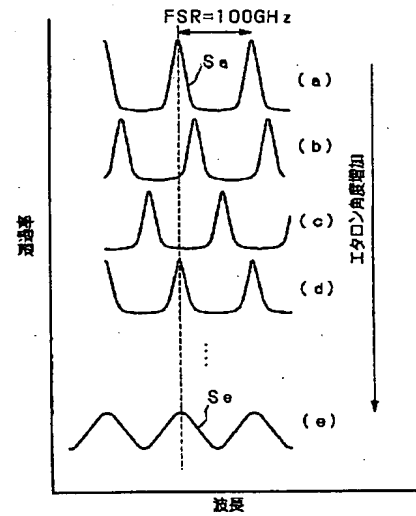
【図7】



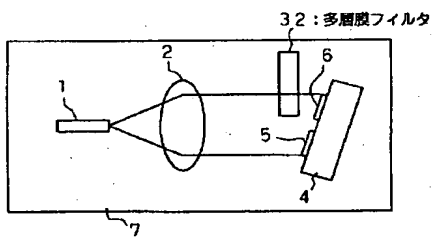
【図6】



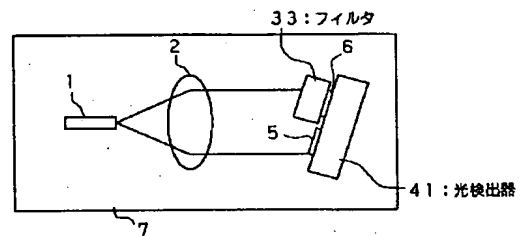
【図8】



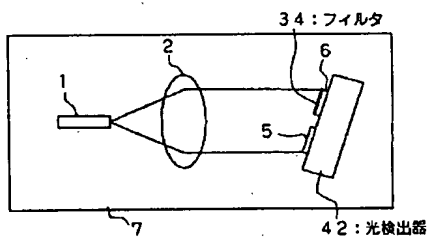
【図9】



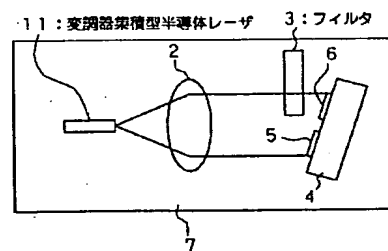
【図10】



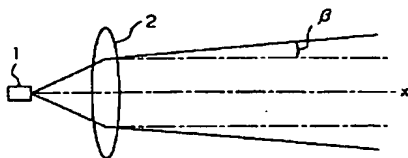
【図11】



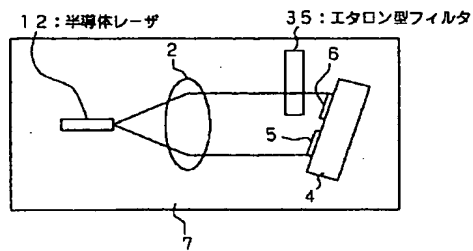
【図12】



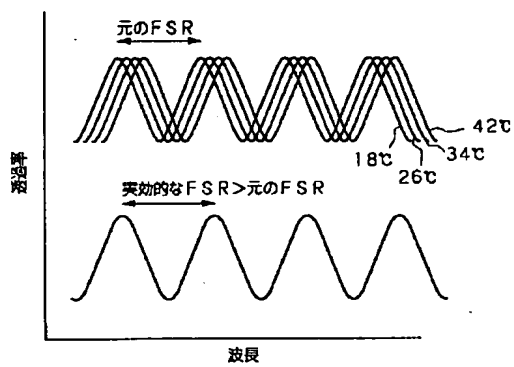
【図17】



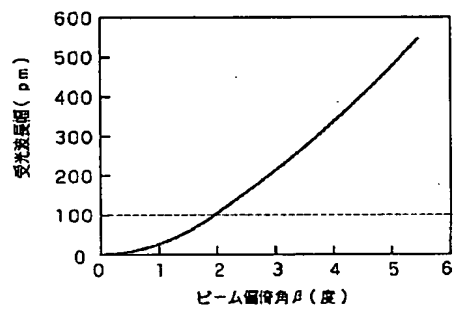
【図13】



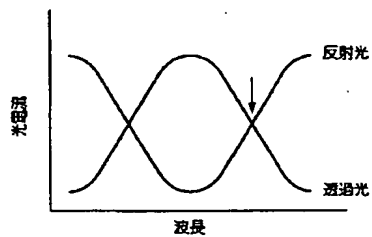
【図15】



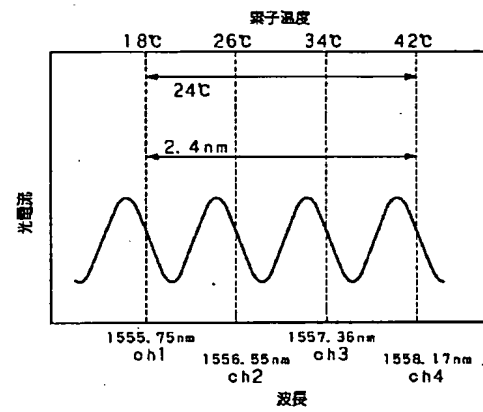
【図18】



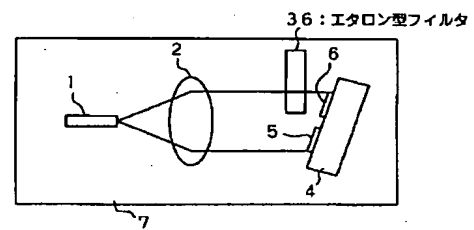
【図20】



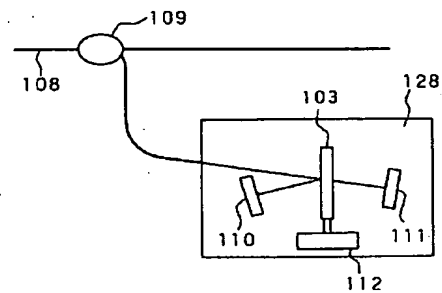
【図14】



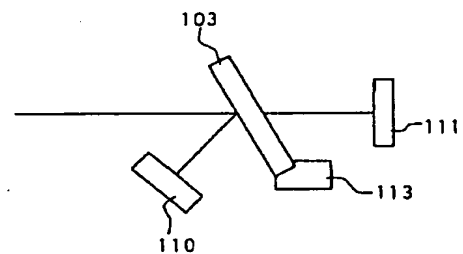
【図16】



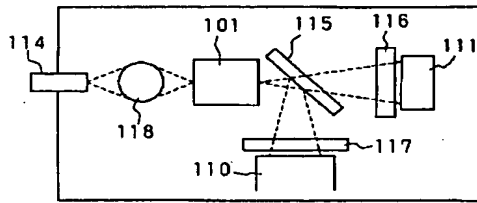
【図19】



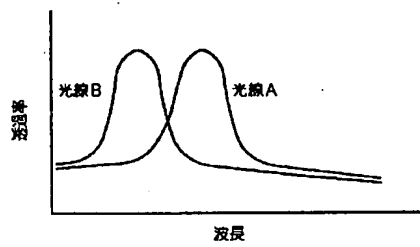
【図21】



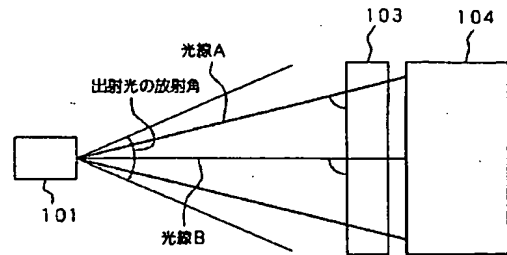
【図22】



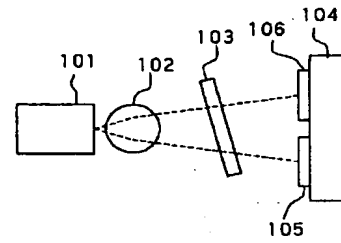
【図24】



【図23】



【図25】



【図26】

